

令和 2 年度
修士学位論文

DTN での協調型スコアリングに基づく 経路制御手法

Routing method based on cooperative scoring in
DTN

1235052 池上 和馬

指導教員 植田 和憲

2021 年 3 月 1 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻
情報学コース

要旨

DTN での協調型スコアリングに基づく 経路制御手法

池上 和馬

通信遅延や経路の切断が頻繁に発生するような通信環境における工夫として、DTN というものを適用することが研究されている。DTN はノードが生成したデータを転送可能となるまで保持することにより、劣悪な通信環境に耐性を持つネットワークである。先行研究では、DTN の経路制御手法の一種であるメッセージフェリー手法を基にした集約型メッセージフェリー手法の課題解決を目的とした、転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の提案を行った。この手法では、フェリーノードと通信を行う可能性を表す指標を設定する。この指標を用いて宛先を決定することで、フェリーノードまでの転送可能性が高いノードを選定し、多くのデータを到達させることが可能である。しかしこの指標は過去の情報から予想した値のため、高い指標を持つノードがフェリーノードの通信可能範囲から離れてしまう場合があり、そのノードが蓄積しているデータの分だけ到達数が減少するという課題が存在する。

本研究では既存研究が抱える課題に対応する手法として、協調型スコアリングメッセージフェリー手法の提案を行う。提案手法では、高い指標を持つがフェリーノードと直接通信を行うことが出来なくなったノードが蓄積し続けているデータを周辺ノードへ転送することでフェリーノードへ到達することを促すために、設定した指標を付近のノードが持つ指標と同程度の値になるように削減する。

評価の結果、提案手法は平均ホップ数と各ノードのバッテリー消費量を既存手法と同程度に留めながら、フェリーノードまでのデータ到達数が向上していることが確かめられた。

キーワード DTN, メッセージフェリー手法, フェリーノード, フェリースコア

Abstract

Routing method based on cooperative scoring in DTN

Ikenoue Kazuma

The application of DTNs has been studied as a device for communication environments where communication delays and route breaks frequently occur. DTNs are characterized by their ability to tolerate poor communication environments by retaining the data generated by nodes until they can be transferred. In our previous study, I proposed a message ferrying method that considers the forwarding history of messages in order to solve the problem of the aggregated message ferrying method based on the message ferrying method, which is a kind of routing method of DTN. In this method, we set an index that indicates the possibility of communication with a ferry node. By using this index to determine the destination, it is possible to create the shortest forwarding path with the highest possibility of forwarding to the ferry node, and thus a large amount of data can be reached. However, when a node with a high index leaves the communication range of the ferry node, the number of data reaches the ferry node decreases by the amount of data accumulated by the node.

In this study, I propose a cooperative scoring message ferrying method to address the issues raised by existing research. In the proposed method, the set index is reduced according to the situation in order to encourage the nodes with high index to reach the ferry node by forwarding the data that the nodes with high index have accumulated for a long time to the neighboring nodes. The evaluation results show that the proposed method improves the number of data arrivals to the ferry nodes while keeping the average hop count and the battery consumption of each node at the same level as the

existing methods.

key words DTN, Message Ferry Method, Ferry node, Ferry score

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	DTN の詳細	3
2.1	DTN	3
2.2	経路制御手法	4
2.2.1	メッセージフェリー手法	5
2.2.2	集約型メッセージフェリー手法	7
第 3 章	協調型スコアリングメッセージフェリー手法	9
3.1	転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法	9
3.1.1	フェリースコアの加算方法	10
3.1.2	無線ノードの通信先決定方法	11
3.1.3	手法の課題	12
3.2	協調型スコアリングを適用した拡張	13
3.2.1	フェリースコアの減少判定	14
3.2.2	フェリースコアの削減値決定方法	15
第 4 章	データ到達数による提案手法の性能評価	17
4.1	評価目的と方法	17
4.2	想定環境	18
4.3	シナリオとシミュレーション環境	18
4.4	シミュレーション結果とその比較	19
4.5	考察	21
第 5 章	まとめ	22

目次

謝辭 **24**

参考文献 **25**

目次

2.1	蓄積運搬転送方式の動作	4
2.2	フェリーノードの動作	6
2.3	フェリーノードの通信範囲外のノード	7
2.4	集約型メッセージフェリー手法の概要	8
3.1	フェリースコアへの加算値決定を行う方法	11
3.2	リストを用いた通信の流れ	12
3.3	転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の課題	13
3.4	フェリースコアの値とノードの位置関係	14
3.5	フェリースコアの減少対象となるノード	15
3.6	フェリースコアの削減値の決定	16

表目次

4.1 シミュレーションのパラメータ	19
4.2 データ到達数とホップ数とバッテリー消費量の結果	20

第 1 章

はじめに

近年、無線通信技術の発展によりマルチホップネットワークが注目されている。このネットワークは、無線通信機器を中継器として利用することで通信可能範囲を広げることが可能ということが特徴であり、IoT 機器に利用されることもある技術である。既存の基地局を用いた通信の場合、災害等の発生により基地局に損壊が発生すると通信が不可能なエリアや、通信に遅延やノイズが発生する障害等が出てくる恐れがある。過去には、2011 年に発生した東日本大震災や 2016 年に発生した熊本地震、世界では 2019 年に中国の四川省で発生した地震の影響で、地震発生直後から通信障害が発生し、人々の生活や経済に大きな影響を与えた [1] [2]。このような状況に陥った際に、マルチホップネットワークを迅速に構築することで、被災地の情報収集を行うことなどが考えられている。しかし、マルチホップネットワークは複数の中継器を介して通信を行った場合通信遅延の発生や、通信経路の切断により通信の確実性が低下してしまう恐れがある。マルチホップネットワークは基地局を設置することが困難な山間部などにも構築することが想定されるため、これらの要素を許容する工夫が必要である。

そこで、マルチホップネットワークの一種である DTN (Delay Tolerant Networking) というネットワークが研究されている [3]。DTN は通信の中継器となるノードがデータを保持することにより、通信遅延や経路の切断が頻繁に発生するような通信環境に耐性を持つネットワークである。現在 DTN の経路制御手法は複数研究されているが、その中でも宛先までの通信経路確保の安定が見込まれている、メッセージフェリー手法というものがある [4]。この手法では、特定の経路で巡回を行うフェリーノードというノードを設定する。そして、フェリーノードが各ノードが持つデータを集約しつつ宛先ノードまで運搬を行う。そ

のため、宛先となるノードの通信可能範囲に存在していないノードのデータも転送することが可能となるが、フェリーノードの巡回経路の付近に存在しないノードを考慮できず、そのようなノードが持つデータの転送が不可能という問題がある。この課題を解決するために、先行研究として集約型メッセージフェリー手法の提案が行われている。この手法では、あらかじめ各ノードにデータをフェリーノードへ転送できる可能性を表す指標を設定し、この指標が高いノードへデータを集約することでフェリーノードの通信範囲外のデータも到達することを可能とする手法である。この手法を基に、フェリースコアを用いたデータ集約を行う際のホップ数の削減を行うとともに、更に多くのノードが持つデータを宛先ノードまで転送することを目的とした、転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の提案を行った。しかし、フェリースコアを用いたデータ集約はネットワークの稼働時間が長くなると、フェリーノードと通信を行う可能性が高い指標を持つノードがフェリーノードから離れてしまい、局所的に高いフェリースコアを持つノードが発生してしまう恐れがある。局所的に高いフェリースコアを持つノードは、フェリースコアと直接通信を行うことが不可能だが、付近のノードが持つデータを集約し続けるため、蓄積しているデータの分だけフェリーノードまでの到達数が減少するという課題がある。

そこで本研究では上記の課題に対応するために、協調型スコアリングメッセージフェリー手法の提案を行う。提案手法では、局所的に高いフェリースコアを持つノードが蓄積しているデータを他ノードへ転送することを促すことでフェリーノードまでの到達数向上を目指すために、そのようなノードが持つフェリースコアを隣接ノードが持つスコアと同程度の値になるように削減する機能を追加する。

第 2 章

DTN の詳細

本章では、既存技術である DTN の概要と経路制御手法、特に宛先までの転送経路確保の安定が見込まれているメッセージフェリー手法について説明を行う。またメッセージフェリー手法を基にした、先行研究である集約型メッセージフェリー手法の説明も行う。

2.1 DTN

DTN は通信を行う際にノード間で発生する遅延や通信障害に耐性を持つネットワークである。DTN は宇宙空間における惑星間インターネットの研究から開発されたものである。しかし、地球上で構成されるネットワークで発生する遅延障害にも対応することが可能であるため注目されている。DTN の適用が想定される環境としては、既存の基地局に障害が発生した際に構築する代替ネットワークや、スマートシティ構築に向けた大規模都市空間内で構築するネットワーク、海中でデータセンシングなどを行うセンサーネットワークなどが挙げられる [5] [6] [7]。

DTN は蓄積運搬伝送方式 (Store and Forwarding) と呼ばれる通信方式を用いる。この方式では、幾つかのノードが中継器となり、データをバケツリレーのように宛先まで転送する。データを受け取ったノードは、自身の通信可能範囲内に存在する別のノードへデータを転送する。通信可能範囲内にノードが存在しない場合はデータを蓄積しておき、別のノードが移動してきた場合や、自身が移動を行った場合などによって通信が可能となった際にデータを転送する。これらの方法を用いることで蓄積運搬伝送方式は、ノードの移動が頻繁に行われる環境や、ある程度の通信を許容することができる場合に、データが宛先まで到達する見込

2.2 経路制御手法

みが高いという利点を持つ [8].

蓄積運搬伝送方式におけるデータ転送の流れを図 2.1 に示す. まず, データを生成したノードは通信可能範囲内に存在するノードへデータを転送する. データを受け取ったノードは, TTL などによるデータの破棄命令を受信するまで蓄積しておく. データを蓄積している各ノードの通信可能範囲内に宛先ノードが存在せず, データを転送することが不可能となった場合, 各ノードが移動することで通信可能となった他のノードへデータの転送を行う.

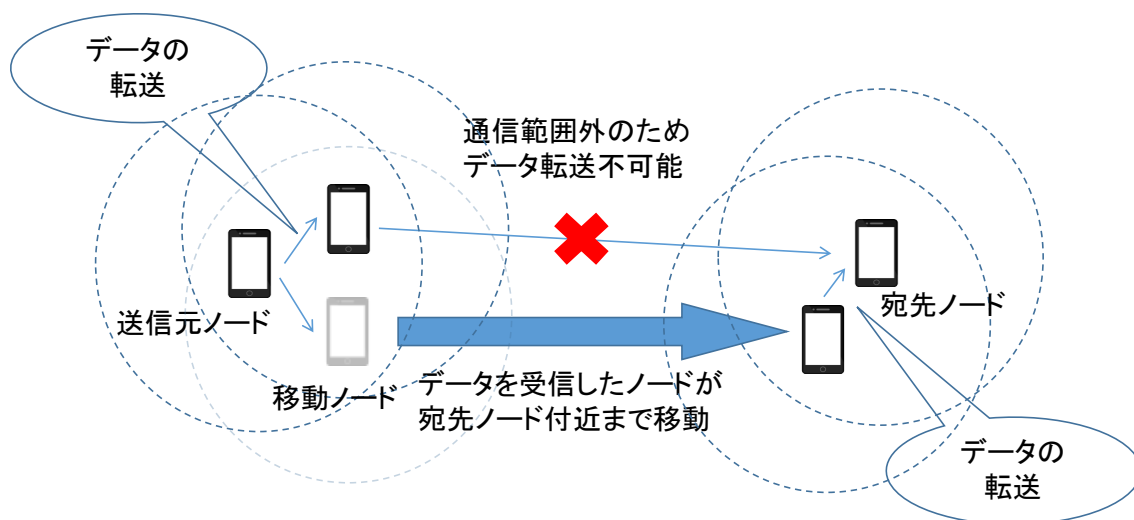


図 2.1 蓄積運搬伝送方式の動作

2.2 経路制御手法

DTN における経路制御手法とは蓄積運搬伝送方式で宛先となるノードまでの転送経路を作成するアルゴリズムのことを示す. DTN の経路制御手法は複数提案されており, それぞれに長所や適する環境, 短所が存在する. Epidemic Routing は, 各ノードが蓄積しているデータを通信可能範囲内に存在する全てのノードへ転送するものであり, DTN の経路制御手法の中でもシンプルな手法である [9]. この手法は, データを生成したノードから宛先までの転送経路を構築する可能性は高いが, 1つのデータが大量に複製されてしまうためノードのバッテリーやバッファなどの資源を浪費してしまう恐れがある. Two-Hop Forwarding 等

2.2 経路制御手法

の, Epidemic Routing の転送回数に制限をかける手法では, 前述した資源浪費を抑える効果が見込まれているが, 宛先までデータが到達する可能性は低下してしまう [10]. このようにデータが宛先まで到達する可能性とネットワークの資源の関係性はトレードオフの関係にある. このトレードオフの問題を解決するための手法として, Spray and Wait が提案されている [11]. この手法では, 1つあたりのデータに対する複製数を, ネットワークの規模とその中に存在するノード数に基づいた制限を設定することで, 複製データの増大を抑えることを目的とした手法である. しかし, ネットワーク内のノードの増加と減少が頻繁に行われることが予想される環境では, 適切な複製数の制限を行うことが困難であるとされている [12].

2.2.1 メッセージフェリー手法

メッセージフェリー手法は他の経路制御手法では存在しない, ネットワーク内を計画的に巡回するフェリーノードと呼ばれるノードを設定する. フェリーノードはネットワーク内を巡回する傍ら, 各ノードが蓄積しているデータを収集しつつ, 宛先付近に移動するとデータを転送するという運び屋のようなノードである. この手法ではデータの中継を, 移動を頻繁に行い多くのノードと通信を行う可能性が高いフェリーノードが担うことで, データが宛先まで到達する可能性が高いという特徴を持つ.

メッセージフェリー手法におけるデータ転送の流れを図 2.2 に示す. フェリーノードは幾つかのノードの集まりであるクラスタ間を巡回し, 各クラスタ内のノードが蓄積しているデータを収集する. データを蓄積したフェリーノードは宛先付近へ移動するとデータをまとめて転送する. この動作を繰り返し行う.

2.2 経路制御手法

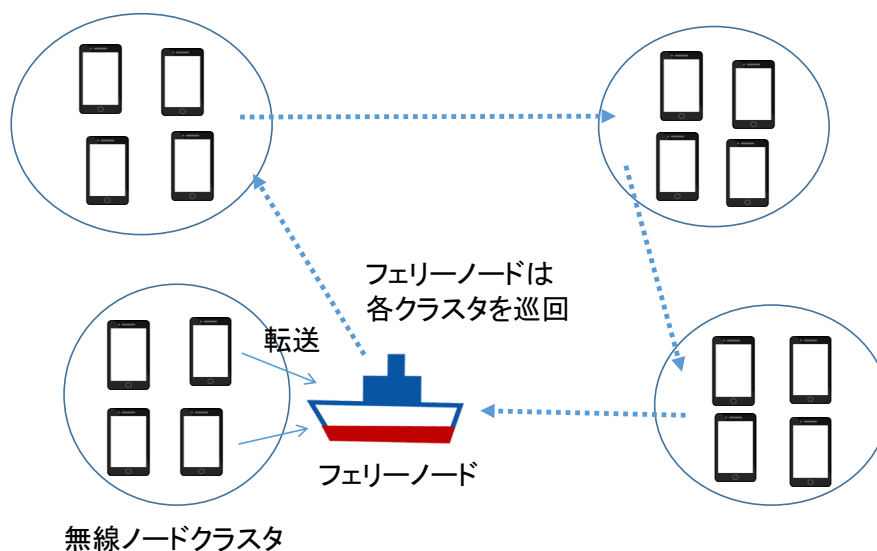


図 2.2 フェリーノードの動作

メッセージフェリー手法では、フェリーノードの巡回経路を最適な経路とするための移動アルゴリズムも研究されている [13]. 各クラスタに対する到達頻度を算出し、フェリーノードはこの値が低いクラスタを優先して訪れることにより、データ転送の遅延を抑えることを目的としたアルゴリズムなどが検討されている. しかし、フェリーノードの巡回経路を考慮するだけでは、図 2.3 のようにクラスタ到達時にフェリーノードの通信範囲外のノードが持つデータを取得することが不可能なため、宛先まで到達することが不可能となる問題が存在する. この問題を解決する手法として、集約型メッセージフェリー手法の提案が行われている.

2.2 経路制御手法

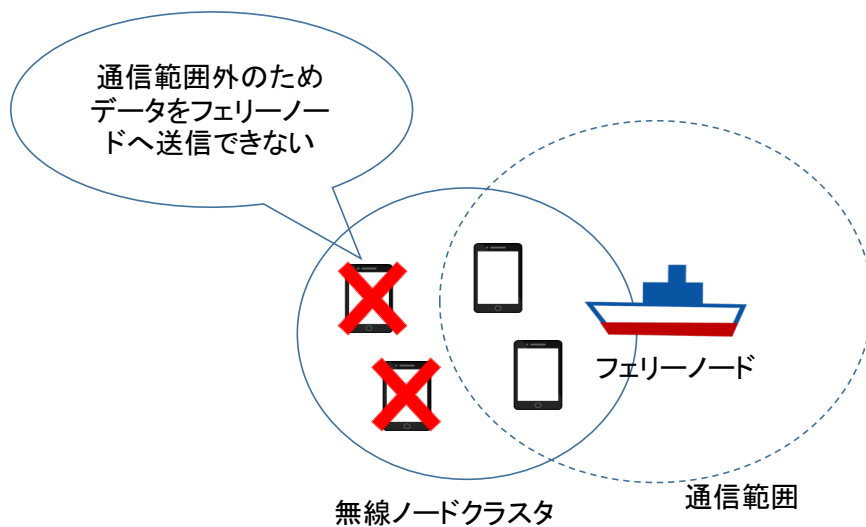


図 2.3 フェリーノードの通信範囲外のノード

2.2.2 集約型メッセージフェリー手法

集約型メッセージフェリー手法は、フェリーノードが到着した際に通信範囲外のノードが持つデータを受信するために、各ノードがあらかじめフェリーノードへデータを転送できる可能性が高いノードへデータを集約しておく手法である。図 2.4 が通信の流れを表したものである。各ノードはあらかじめ、フェリーノードがクラスターに到達した際に通信を行う可能性が高い集約ノードへデータを集約する。集約ノードはフェリーノード到達時、蓄積していたデータをまとめて転送する。そのため、フェリーノード到達時に通信範囲外にノードが存在する場合でも、データの転送は集約ノードが行うため宛先ノードへ転送される可能性が高い。

2.2 経路制御手法

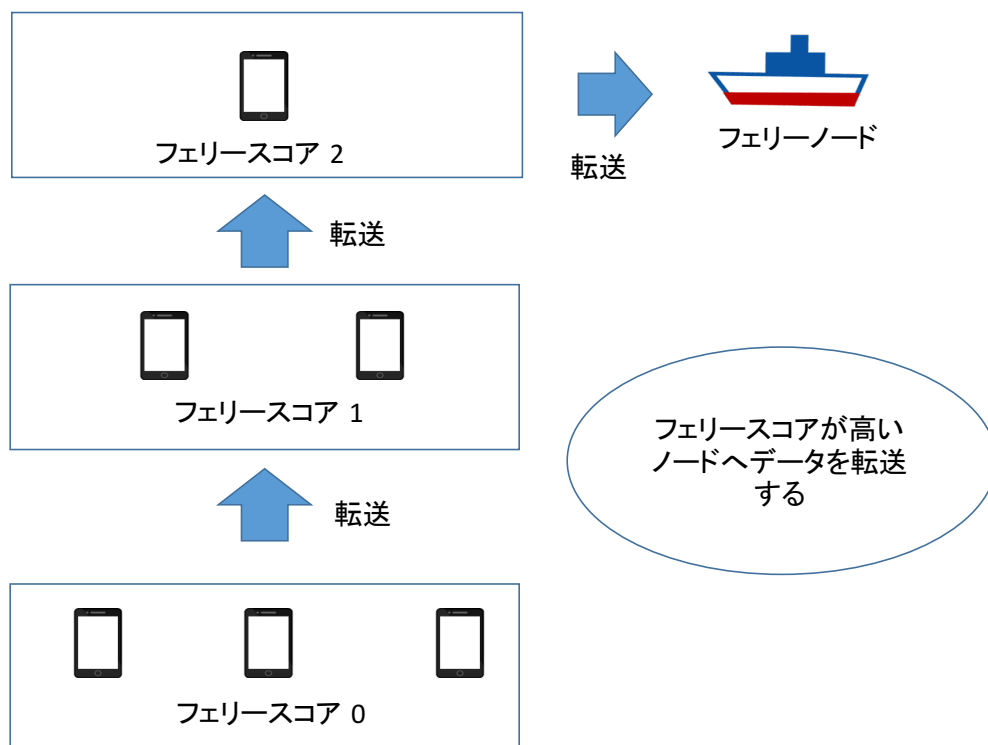


図 2.4 集約型メッセージフェリー手法の概要

集約型メッセージフェリー手法では新たに、各ノードにフェリーノードと通信を行う可能性を表す指標である、フェリースコアという値を設定する。フェリースコアの初期値は 0 であり、フェリーノードと通信を行った際に 1 ずつ上昇する。各ノードはデータを集約する際に隣接ノード内に存在する、フェリースコアが高いノードヘデータを転送する。しかしこの手法では、フェリースコアの増加はフェリーノードと直接通信を行ったノードのみ行われることになるため、フェリーノード周辺のノードのスコアしか変動せず、遠くにあるノードのデータを取得することが困難という問題が存在する。そのため、この課題を解決するために転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の提案を行った。

第 3 章

協調型スコアリングメッセージフェリー手法

本章では、集約型メッセージフェリー手法を基に提案された既存手法である、転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の説明を行う。また、この手法の課題を解決するため本研究で新たに提案を行う、協調型スコアリングメッセージフェリー手法の説明も行う。

3.1 転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法

転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法は、集約型メッセージフェリー手法の課題を解決するために以前の研究で提案した手法である。この手法ではフェリーノードの付近に存在するノードだけでなく、多くのノードのスコア変動を促進するために、データがフェリースコアに転送された際の転送経緯を考慮しつつ算出した値を、その転送経路に含まれる各ノードが持つフェリースコアに加算する。そのために各データは、データを生成したノードからフェリースコアまで転送された際の経路を記録しておく。フェリーノードへ到達したデータは、転送経路を確認し、経路に含まれる各ノードのフェリースコアに経路数に応じた値を加算する。また、通信先を決定する試行回数を抑制するため、各ノードは隣接ノードのフェリースコアの一覧を記録したリストを作成し、通信を行う際には作成したリストを確認するように変更した。

3.1 転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法

3.1.1 フェリースコアの加算方法

転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法におけるフェリースコアの加算方法について更に詳しく説明を行う。この手法では、フェリースコアを各ノードがフェリーノードまでのデータ転送経路に含まれる可能性を表す値に変更する。集約型メッセージフェリー手法では、データの転送が行われた後に行われるフェリースコアの加算対象は最後にフェリーノードへデータを転送したノードのみであったが、この手法では、あるノードがフェリーノードへデータを転送した際、そのデータの生成ノードからフェリーノードまでの中継ノード全てを加算対象とする。そして、加算する値はフェリーノードまでの転送順によってそれぞれ異なる値とする。これにより、各ノード間のフェリースコアに差が生まれ、転送先ノードを容易に定めることが可能となる。

フェリースコアに加算される値を転送順から決定する仕組みの詳細を述べる。まず各データは式 3.1 のようなフェリーノード到達までの転送経路を作成する。

$$\langle i_1, i_2, i_3, \dots, i_n, \dots, i_N \rangle \quad (3.1)$$

データの生成ノードを i_1 、フェリーノードへデータを転送したノードを i_N とする。 i_N にはホップ数である N 、その他のノード i_n は自身の経路内順番である n を加算する。フェリーノードへデータが到達した際に、フェリーノードは各ノードの順番に基づきそれぞれに加算する値を決定する。その様子を表したものが図 3.1 である。データがノード A で生成され、ノード B を介してデータ C からフェリーノードへ到達した場合、この通信のホップ数は 3 となる。そしてフェリーノードはデータ C からデータ A へ加算命令パケットを送信する。フェリーノードへデータを転送したデータ C は最大値であるホップ数 3 を加算する。そして、次に転送経路内に示されているノードであるノード B に対して、自身の経路内の順番である 2 を加算、最後にノード A も同様に 1 を加算する。

3.1 転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法

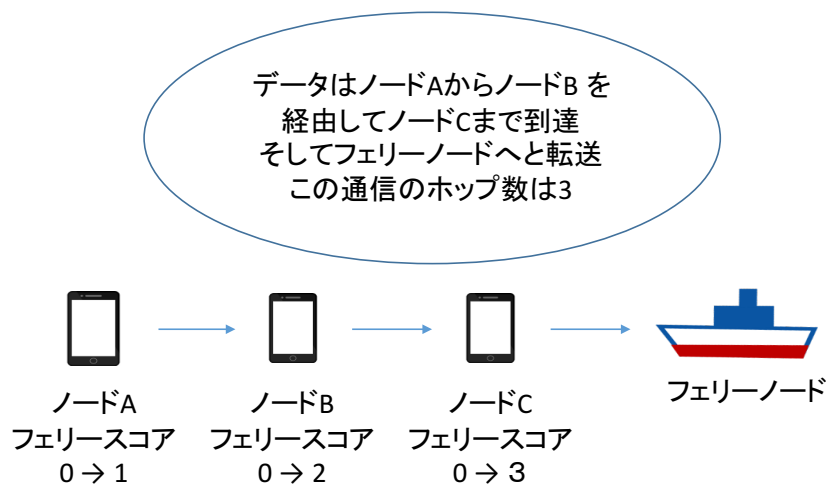


図 3.1 フェリースコアへの加算値決定を行う方法

3.1.2 無線ノードの通信先決定方法

転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法ではノードが転送先の決定を行う際の試行時間増加を抑え容易に転送先を決定するために、各ノードは自ノードと通信可能な隣接ノードと、そのノードが持つフェリースコアを記したリストを作成する。このリストの更新は、自ノードと通信可能なノードが発生する度に行い、リストに記されたノードが通信不可能となった際も同様に削除される。また、リスト内に記されたノードはリストの更新が行われた際にフェリースコアを用いて降順ソートが行われ、常にリストの最上段には最も高いフェリースコアを持つノードが記されるようにする。リストを用いた転送先の決定を図 3.2 に示す。ノードがデータを転送する際にはリスト最上段に記載されている、最大値のフェリースコアを持つノードに対して転送を試みる。もし、最上段にあるノードへデータを転送することが不可能だった場合は、その下にあるノードへデータ転送を試みる。集約型メッセージフェリー手法ではデータを転送する際に隣接ノードのフェリースコアを度々確認していたが、リストを用いることで転送先を少ない試行回数で決定することができる。

3.1 転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法

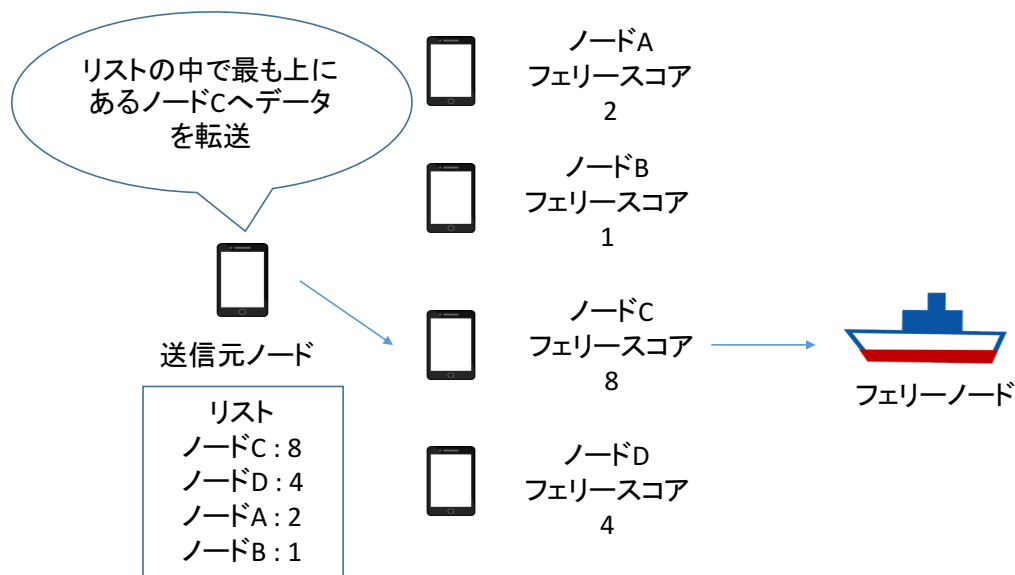


図 3.2 リストを用いた通信の流れ

3.1.3 手法の課題

この手法で用いたフェリースコアはデータ転送を行った回数という過去の情報のみに頼っている。そのため、フェリースコアを用いた経路制御手法は高いフェリースコアを持つノードの移動によってフェリーノードまで到達することが不可能なデータが発生する可能性がある。シミュレーション上では、フェリースコアが高いノードがフェリーノードの通信範囲外に移動した後その場に滞在することで、付近のノードよりも局所的に高いフェリースコアとなる状況の発生が見られた。局所的に高いフェリースコアを持つノードは、フェリーノードへデータを直接転送することは不可能だが、フェリースコアが周辺ノードよりも高いために集約したデータを蓄積し続けるという特徴を持つ。そのため、局所的に高いフェリースコアを持つノードが発生すると、フェリーノードまでの到達可能なデータ数が減少するという問題が存在する。

この課題が発生する状況を図 3.3 に示す。あるノード X はフェリーノード付近に長く滞在しており高いフェリースコアを持っているが、ある時フェリーノードと通信を行うことが不可能となる離れた位置へ移動を行った。その場合ノード X の付近に存在するノードは、ノー

3.2 協調型スコアリングを適用した拡張

ド X を転送先と定めるためデータがノード X へ集約される。このノード X がその場に滞在する時間が長くなるほど多くのデータを集約してしまい、その分だけフェリーノードまでの到達するデータ数が減少してしまう。この課題を解決するために本研究では、転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法におけるフェリースコアの算出方法を拡張した手法である、協調型スコアリングメッセージフェリー手法の提案を行う。

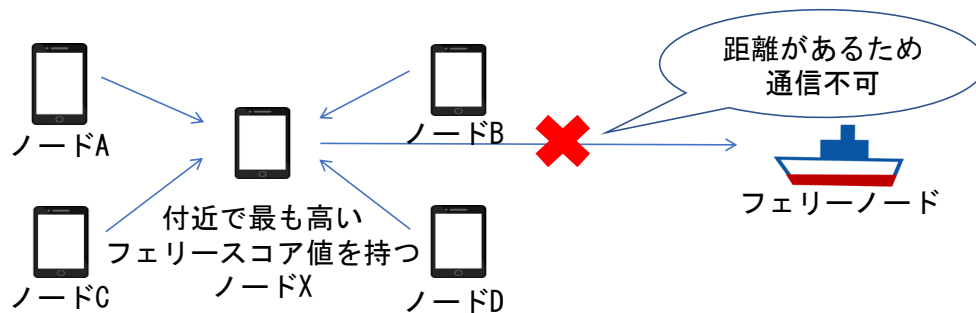


図 3.3 転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の課題

3.2 協調型スコアリングを適用した拡張

協調型スコアリングメッセージフェリー手法は、転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法で見られる課題である、局所的に高いフェリースコアを持つノードの発生により、そのノードが持つデータがフェリーノードまで到達することが困難になるという課題の解決を行う。提案手法では図 3.4 のように、クラスタ内のノードが持つフェリースコアがフェリーノードに近いノードほど高くなっている状況を常に保つようにする。そのため、局所的に高いフェリースコアを持つノードが発生した場合、そのノードが蓄積しているデータを付近のノードへ転送するためにフェリースコアの削減を行う。クラスタ内で局所的に高いフェリースコアを持つノードが蓄積していたデータを周辺ノードへ転送することで、フェリーノードまで到達可能となることを目指す。

3.2 協調型スコアリングを適用した拡張

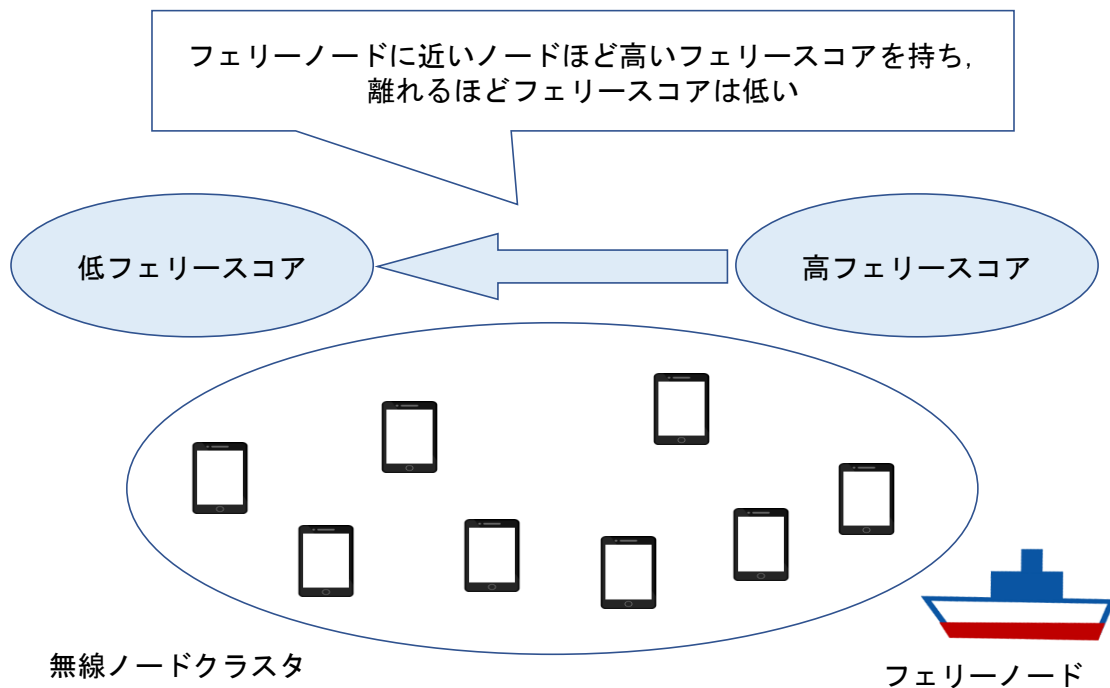


図 3.4 フェリースコアの値とノードの位置関係

3.2.1 フェリースコアの減少判定

フェリースコアの削減を行う対象となるノードの決定方法について説明を行う。削減対象となるノードは、局所的に高いフェリースコアを持つノードである。つまり、過去にデータをフェリーノードへ転送した回数は多いが、ノードの移動が行われることで現在はフェリーノードと直接通信をすることが可能という見込みが薄いノードである。そのため提案手法では、フェリーノードがクラスターへ訪れている間に蓄積されているデータを周辺ノードへ転送できなかったノードを、フェリースコアの削減対象ノードとする。

図 3.5 にフェリースコアの減少対象となるノードを示す。フェリーノードがクラスターを離れた際、ノード X は周辺ノード A~D のデータを蓄積し保持していた。この場合、ノード X はフェリーノードがクラスターに訪れている際に保持しているデータを転送する必要があったが、フェリーノードに転送を行うことが不可能だった。このことからノード X は周辺のノード

3.2 協調型スコアリングを適用した拡張

ドの中で最も高いフェリースコアを持つが、直接フェリーノードと通信を行うことが不可能なノードとみなす。したがって、ノード X を局所的に高いフェリースコアを持つノードであると判断し、他のノードへデータを転送することが可能になるようにノード X のフェリースコアを削減させる。

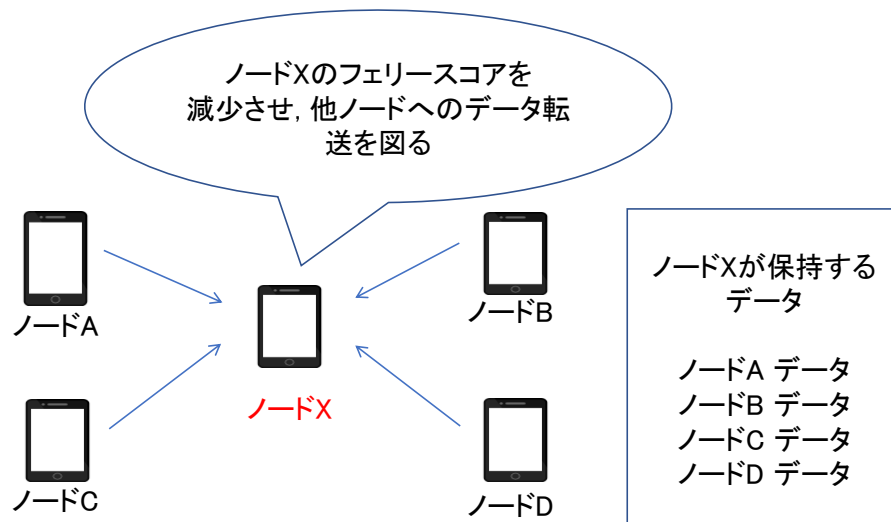


図 3.5 フェリースコアの減少対象となるノード

3.2.2 フェリースコアの削減値決定方法

フェリースコアの削減値を算出する方法について説明を行う。提案手法において、削減対象となるノードは局所的に高いフェリースコアを持つノードである。そのためそのようなノードが蓄積しているデータを周辺ノードへ転送するために、周辺付近に存在するノードが持つフェリースコアの平均値まで値を減少させる。

図 3.6 にフェリースコアの削減値を決定する方法を示す。図 3.6 は図 3.5 にてノード X が削減対象ノードに決定された後を示す。フェリースコアの平均値は、転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法で各ノードが作成するように定めたリストから決定する。リストにはフェリースコアが高い順に周辺ノードが記されているため、リストの半数地点に存在するノードが持つフェリースコアが平均値となる。そのためノード X は、自身が持つリスト内に記された各ノードからノード C が持つフェリースコアと同じ値となるように自身が持つフェ

3.2 協調型スコアリングを適用した拡張

リースコアの削減を行う。

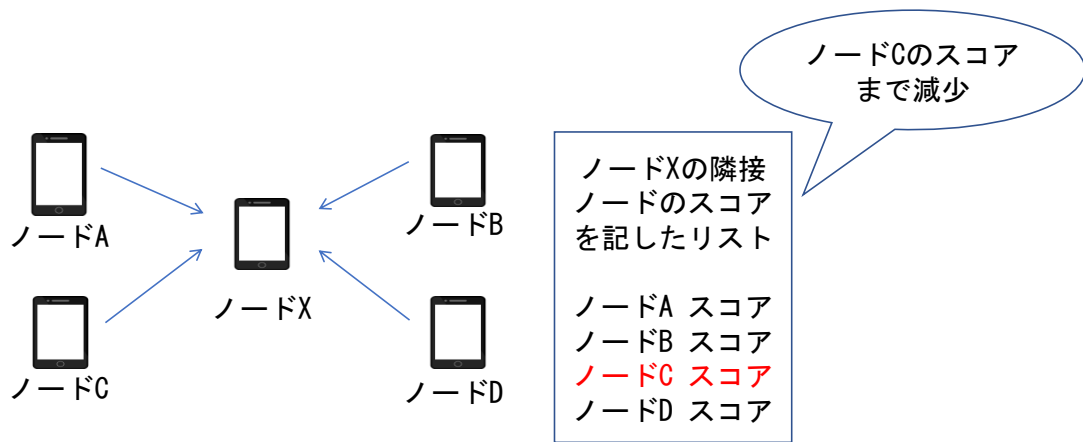


図 3.6 フェリースコアの削減値の決定

第 4 章

データ到達数による提案手法の性能 評価

本章では、提案手法である協調型スコアリングメッセージフェリー手法における性能を確認するために行った評価について説明を行う。評価はネットワークシミュレータ上に実装した既存研究である転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法と協調型スコアリングメッセージフェリー手法を、同パラメータ、同シナリオで実行した際に得られたシミュレーション結果より性能の比較を行う。

4.1 評価目的と方法

本研究では、局所的に高いフェリースコアを持つノードの発生を抑制し、データ転送数が向上することを確認する。また、フェリースコアの削減処理を追加したことより、平均ホップ数と各ノードのバッテリー消費量に与える影響も確認する。

本研究では、ネットワークシミュレータ上に既存手法である転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法と、提案手法である協調型スコアリングメッセージフェリー手法の 2 種類を実装し、それぞれを同条件でシミュレーションを行って得られた結果から、フェリーノードまでのデータ到達数、平均ホップ数、バッテリー消費量の比較を行う。

4.2 想定環境

本研究では、先行研究で考えられていた想定環境を基に、1つのクラスタへフェリーノードが訪れ、クラスタ内のノードが持つデータを集め宛先まで移動を行い転送を行うという動作を繰り返し行っている環境を想定する。この時、フェリーノードの巡回周期はあらかじめ一定の時間を設定し、クラスタと宛先を結ぶ移動経路が存在しているものとする。また、クラスタ内に存在するノードはスマートフォン等の移動体通信機器を人が持っており、それらの通信機器は自由にクラスタ間を行動している機器、その場にとどまる機器と2種類存在するものとする。

4.3 シナリオとシミュレーション環境

シミュレーションでは The ONE (The Opportunistic Network Environment simulator) というシミュレータ上に提案手法等の実装を行なった [14]。The ONE は Epidemic Routing などの DTN ルーティングプロトコルやノードの移動モデル、データの生成規則等が実装されている。そのためユーザは必要となる各パラメータや想定するシナリオの設定を行うことで、DTN 環境におけるネットワークの評価を行うことができる。

本シミュレーションで用いた各パラメータを表 4.1 に示す。今回の評価で使用するパラメータは過去の研究で用いた値と同等な値としているが、それぞれのシミュレーション時間は局所的に高いフェリースコアを持つノードが発生することを踏まえ 21000 秒とした。本シミュレーションでは、提案手法においてエリアの大きさから受ける影響を確認するために、シミュレーションエリアの大きさを変更した2つのシナリオでの評価を行う。シナリオ1のエリアを 200m × 200m、シナリオ2のエリアを 300m × 300m とする。

データの生成と中継機となるノードは、ランダムな方向に移動するノードが 30 台、移動を行わずその場にとどまり続けるノードを 30 台とする。また、転送するデータは 60 秒毎にランダムなノードで生成され、クラスタ内に存在するノードとフェリーノードのバッファは十分にあるものとする。

4.4 シミュレーション結果とその比較

フェリーノードはシミュレーション開始時にはエリア内に存在せず、巡回周期である 1500 秒を経過した後にエリア内に滞在する。滞在時間は 600 秒とし、その間ノードからデータを収集する。600 秒経過後は、再度巡回周期分の時間エリア外に移動して待機を繰り返す。

バッテリー消費量は、文献 [9] を参考し、転送先ノードの探索からデータの転送までに要する電力消費量を一定に定めた。また本実験での比較は、それぞれの手法を同じ条件で 10 回シミュレーションを行い得られた結果の平均値を用いて行う。

表 4.1 シミュレーションのパラメータ

	計測時間 (sec)	21000
	シミュレーションエリア (m)	200 × 200 & 300 × 300
無線ノード	移動ノード	30
	停止ノード	30
	端末移動速度 (m/sec)	0.5 ~1.5
	移動停止秒数 (sec)	0 ~120
	通信速度 (Mbps)	2
	通信半径 (m)	100
バッテリー	ノード探索による消費	9.8
	ノード探索への反応による消費	0.4
	データ送受信による消費	0.8
フェリーノード	巡回周期 (sec)	1500
	滞在時間 (sec)	600
メッセージ	生成頻度 (sec)	60
	メッセージサイズ (KB)	50 ~150
	TTL (min)	30

4.4 シミュレーション結果とその比較

シミュレーションを行い得られた結果を表 4.2 に示す。シミュレーション実行中にノードが生成したデータの総数と、データがフェリーノードまで到達した総数、各データがフェリー

4.4 シミュレーション結果とその比較

ノードへ到達するまでの転送回数の総数と平均値, 更に各データが消費したバッテリーの総量が得られた結果である.

表 4.2 データ到達数とホップ数とバッテリー消費量の結果

	200m ²		300m ²	
	既存手法	提案手法	既存手法	提案手法
データ生成数	350			
データ到達数	305	350	261	346
平均ホップ数	2.00	2.11	2.37	2.51
総転送回数	612	741	619	871
バッテリー消費量	16215	16504	16322	16619

各値の計測結果より比較を行う. データ到達数は, シナリオ 1 では既存手法が 305 回で提案手法が 350 回, シナリオ 2 では既存手法が 261 回で提案手法が 346 回という結果になった. このことから, シナリオ 1 では約 14%, シナリオ 2 では約 32%提案手法が既存手法を上回るという結果となった. また, 総転送回数も, シナリオ 1 では既存手法が 612 回, 提案手法が 741 回と提案手法が約 21%上回り, シナリオ 2 では既存手法が 619 回, 提案手法が 871 回と提案手法が約 40%上回るという結果になったが, 1 つ当たりのデータが宛先まで到達するまでの平均ホップ数は両手法同程度の数値となった. 更にバッテリー消費量もシナリオ 1 では既存手法が 16215 回, 提案手法が 16504 回, シナリオ 2 では既存手法が 16322 回, 提案手法が 16619 回と, 両シナリオ共に提案手法の増加数の割合は約 1%と, 既存手法と同程度の値という結果となった. 以上のことから提案手法を用いることで, 平均ホップ数と各ノードのバッテリー消費量が既存手法と同程度に留めながら, データ到達数が向上していることが確かめられた.

4.5 考察

シミュレーションで得られたデータ到達数より、提案手法が既存手法を上回るものとなった。そこで、既存手法において転送不可能だったデータにおける、提案手法を使用した際の転送経路を確認することで、提案手法が想定通りの効果を得られていることを確認する必要があると考える。そのため現在は、フェリースコアの削減が行われた時間とノードを記録しておき、その時間に保持していたデータがどのような転送経路となっているか確認する方法を検討中である。

また、現在の提案手法はノードの移動が頻繁に起こる環境に弱いという特徴を持っていると考える。ノードの移動が頻繁に発生すると局所的に高いフェリースコアを持つノードの発生も多く予想されるため、現在設定しているフェリースコアの削減タイミングではそれらの対応に遅れが生じ、データ到達数の向上があまり見込めなくなると予想する。そのため今後は、そのようなノードの移動が頻繁に発生する環境下で本手法を適用するための方法や、フェリースコアの削減タイミングを検討する必要があると考える。

第 5 章

まとめ

近年注目されているマルチホップネットワークの中でも、通信遅延や経路の切断が頻繁に発生するような通信環境に耐性を持つという特徴を持つネットワークである DTN というものが注目されている。DTN は通信を仲介するノードがデータを保持することにより、通信遅延や経路の切断が頻繁に発生するような通信環境に耐性を持つネットワークである。DTN には複数の経路制御手法が提案されており、その中でもデータを宛先まで転送するための安定的経路を確保できるフェリーノードを用いる手法であるメッセージフェリー手法が存在する。この手法を基に、フェリーノードへデータを転送する可能性を表す指標であるフェリースコアという値を設定し、その指標を基にデータをあらかじめフェリーノードへデータを転送できる可能性が高いノードへ集約することでデータ転送数の向上を図る集約型メッセージフェリー手法が提案されている。以前の研究では、フェリースコアを用いた転送先決定を行う際にフェリーノードまでの経路が最も短くなるようにするよう改良を施した、転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の提案を行った。この手法は、高いフェリースコアを持つノードがフェリーノードの通信可能範囲から離れた場合、局所的に高いフェリースコアを持つノードとなる。そのため、そのノードの蓄積データの転送先ノードを決定することが不可能になることで、データ到達数が減少するという課題が存在する。本研究ではこの課題に対応する手法として、協調型スコアリングメッセージフェリー手法の提案を行った。提案手法では、局所的に高いフェリースコアを持つノードが蓄積し続けているデータを隣接ノードへ転送することでフェリーノードへの到達を促すために、付近のノードが持つフェリースコアに合わせてフェリースコアを削減する処理を行う。

評価の結果、提案手法は平均ホップ数と各ノードのバッテリー消費量を既存手法と同程度

に留めながら、フェリーノードまでのデータ到達数が最大約 32%上回る事が確かめられた。今後は提案手法が想定通りの効果を得られていることを確認するために、既存手法において転送不可能だったデータが提案手法を使用したことでどのような転送経路となるのかを確認する必要があると考える。また、現在の提案手法はノードの移動が頻繁に起こる環境に弱いという特徴を持っていると考えるため、今後はそのような環境下での適用方法を検討する必要があると考えています。

謝辞

本研究を行うに際し、多くの指導と貴重なご意見を頂いた高知工科大学情報学群 植田和憲講師に心より御礼申し上げます。また、副査を引き受けていただいた同学群 横山和俊教授、福本昌弘教授に心から感謝いたします。

参考文献

- [1] 総務省. ”情報通信白書平成 23 年版 第 1 部 東日本大震災における情報通信の状況”. 2011.
- [2] 総務省. ”熊本地震における ict 利活用状況に関する調査結果 (概要)”. 2017.
- [3] K. Fall. ”A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets”. *Proc. SIGCOMM '03*, pp.27-34, 2003.
- [4] W. Zhao, M. Ammar, and E. Zegura. ”A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks”. *Proc. MobiHoc '04*, pp.187-198, 2004.
- [5] C. Giannini, A. A. Shaaban, C. Buratti, and R. Verdone. ”Delay Tolerant Networking for smart city through drones”. *ISWCS*, 2016.
- [6] A. Khasawneh, M. Shafie Bin Abd Latiff, O. Kaiwartya, and H. Chizari. ”A reliable energy-efficient pressure-based routing protocol for underwater wireless sensor network”. *Wireless Networks*, 2018.
- [7] Y. Mao, C. Zhou, Y. Ling, and J. Lloret. ”An Optimized Probabilistic Delay Tolerant Network(DTN) Routing Protocol Based on Scheduling Mechanism for Internet of Things (IoT) ”. *MDPI*, 2018.
- [8] M.C. Chuah, P. Yang, B.D. Davison, and L. Cheng. ”Store-and-Forward Performance in a DTN”. *IEEE 63rd Vehicular Technology Conference*, 2006.
- [9] A. Vahdat and D. Becker. ”Epidemic routing for partially-connected ad hoc networks”. *Technical report, CS-200006*, 2000.
- [10] M. Grossglauser and D. Tse. ”Mobility increases the capacity of ad hoc wireless networks”. *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol.10, pp.477-486, 2002.
- [11] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C.S. Raghavendra. ”Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks”. *Proc, WDN '05*,

参考文献

pp.252-259, 2005.

- [12] P. Dwivedi and R.S. Pippal. "Performance Evaluation of Spray and Wait DTN Routing Protocol under Different Mobility Models". *ISSN: 0374-8588 Volume 21 Issue 1*, 2019.
- [13] S. Roy, D. Tomasi, M. Conti, S. Bhusai, A. Roy, and J. Li. "Optimizing Message Ferry Scheduling in a DTN". *Proc. MobiHoc '18*, *pp.113-117*, 2018.
- [14] A. Keranen, J. Ott, and T. Karkkainen. "The one simulator for dtn protocol evaluation". *Proc. SIMUTools '09*, 2018.